

## Évolution holocène des travertins de vallée dans le Midi méditerranéen français

### Holocene Evolution of Valley Travertines in the Mediterranean South of France

### Holozän-Entwicklung der Tal-Travertine im Französischen Mittelmeersuden

Jean Vaudour

Volume 48, numéro 3, 1994

Les travertins  
Travertines

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/033012ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/033012ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Vaudour, J. (1994). Évolution holocène des travertins de vallée dans le Midi méditerranéen français. *Géographie physique et Quaternaire*, 48(3), 315–326.  
<https://doi.org/10.7202/033012ar>

Résumé de l'article

Les édifices travertineux (travertins s.s. et dépôts associés) sont des indicateurs écologiques et géomorphologiques de révolution des milieux fluviaux des régions karstiques. Ils évoluent, au cours de l'Holocène, en trois temps. 1) La construction des barrages débute souvent dès le Préboréal. Elle se poursuit jusqu'à l'Atlantique, à la faveur d'un optimum bioclimatique forestier. Les remblaiements palustres, en arrière des dômes stromatolithiques, comportent des tourbes datées principalement entre 7000 et 3800 ans BP. La pression exercée par l'homme est encore discrète. 2) Entre 4000 BP (Néolithique final-Chalcolithique ancien) et le début de notre ère, parfois dès le Chasséen, la sédimentation travertineuse s'interrompt ou se poursuit sous une forme ralentie et dégradée, tandis que le couvert végétal s'ouvre sous le poids de la pression anthropique ; les récurrences travertineuses varient selon les sites et les aléas de l'occupation humaine. 3) À l'époque historique, le démantèlement des barrages s'accélère tandis que l'homme achève la mise en valeur des écosystèmes humides liés aux travertins. La vidange des zones palustres et l'enfoncement des nappes phréatiques accompagnent le creusement des vallées et le dégagement des terrasses travertineuses. La sédimentation se poursuit de nos jours sous une forme discrète dans des sites refuges. L'histoire holocène des travertins de fond de vallée s'inscrit dans une séquence climato-anthropique.

# ÉVOLUTION HOLOCÈNE DES TRAVERTINS DE VALLÉE DANS LE MIDI MÉDITERRANÉEN FRANÇAIS

Jean VAUDOUR, Laboratoire de géographie physique, U.R.A. 903-C.N.R.S., Université de Provence, 29, avenue Robert-Schuman, 13621 Aix-en-Provence, France.

**RÉSUMÉ** Les édifices travertineux (travertins s.s. et dépôts associés) sont des indicateurs écologiques et géomorphologiques de l'évolution des milieux fluviaux des régions karstiques. Ils évoluent, au cours de l'Holocène, en trois temps. 1) La construction des barrages débute souvent dès le Préboréal. Elle se poursuit jusqu'à l'Atlantique, à la faveur d'un optimum bioclimatique forestier. Les remblaiements palustres, en arrière des dômes stromatolithiques, comportent des tourbes datées principalement entre 7000 et 3800 ans BP. La pression exercée par l'homme est encore discrète. 2) Entre 4000 BP (Néolithique final-Chalcolithique ancien) et le début de notre ère, parfois dès le Chasséen, la sédimentation travertineuse s'interrompt ou se poursuit sous une forme ralentie et dégradée, tandis que le couvert végétal s'ouvre sous le poids de la pression anthropique; les récurrences travertineuses varient selon les sites et les aléas de l'occupation humaine. 3) À l'époque historique, le démantèlement des barrages s'accélère tandis que l'homme achève la mise en valeur des écosystèmes humides liés aux travertins. La vidange des zones palustres et l'enfoncement des nappes phréatiques accompagnent le creusement des vallées et le dégagement des terrasses travertineuses. La sédimentation se poursuit de nos jours sous une forme discrète dans des sites refuges. L'histoire holocène des travertins de fond de vallée s'inscrit dans une séquence climato-anthropique.

**ABSTRACT** *Holocene evolution of valley travertines in the Mediterranean south of France.* Travertine systems (travertines s.s. and associated deposits) are ecological and geomorphological indicators of the evolution of river environments in karstic regions. Their study reveals three main evolutionary stages. 1) The construction of travertine dams begins as far back as the Preboreal. It appears to be generalized during the Atlantic, thanks to a forest bioclimatic optimum. Behind stromatolite domes, river and wetland filling materials accumulate. They sometimes contain fen peats dated from 7000 to 3800 years BP. Man's pressure is still weak. 2) Between the late Neolithic-early Chalcolithic (around 4000 BP) and the beginning of our era, travertine sedimentation either stops or continues, according to sites and the fluctuations of human presence, in a slow and degraded form (tufas with travertine sands). Forest cover opens under the weight of human pressure. 3) The dismantling of travertine dams and the downcutting of valleys, both wide (>10 m)) and rapid (about one millenium) accelerate during the historic age. Travertine constructions and humid ecosystems appear to be attractive to Man. The emptying of marshy lands and the progressive lowering of the underground waters coincide with the modeling of travertine terraces. Nowadays, stromatolite sedimentation is still occurring, but in a less conspicuous way in refuge sites. The Holocene history of travertine follows, on the whole, a climatic-anthropic sequence.

**ZUSAMMENFASSUNG** *Holozän-Entwicklung der Tal-Travertine im französischen Mittelmeersüden.* Die Travertin-Bauten (Travertine s.s. und damit verbundene Ablagerungen) sind ökologische und geomorphologische Indikatoren für die Entwicklung der Fluß-Milieus in Karst-Regionen. Im Laufe des Holozäns entwickeln sie sich in drei Zeiträumen. 1) Der Bau der Dämme beginnt oft schon im Präboreal. Er setzt sich fast bis zum Atlantik dank einem bioklimatischen Wald-Optimum fort. Die Sumpf-Aufschüttungen, hinter den stromatolithischen Domen, enthalten Torf, der hauptsächlich auf zwischen 7000 und 3800 Jahre v.u.Z. datiert wird. Der von Menschen ausgeübte Druck ist noch unauffällig. 2) Zwischen 4000 v.u.Z. (Ende des Neolithikums — frühes Chalkolithikum) und dem Anfang unserer Ära, manchmal schon im mittleren Neolithikum, hält die Travertin-Sedimentierung an oder setzt sich in verlangsamer und schwächerer Form fort, während sich die Pflanzendecke unter dem Gewicht des anthropogenen Drucks öffnet; die Travertin-Rückläufigkeiten variieren je nach Ort und den Umständen der menschlichen Einwirkung. 3) In der historischen Epoche beschleunigt sich der Abbau der Dämme während der Mensch die Nutzung der mit den Travertinen verbundenen Ökosysteme vollends durchsetzt. Das Entleeren der Sumpfböden und allmähliche Sinken der Grundwasserspiegel begleiten die Einschneidung der Täler und das Freimachen der Travertin-Terrassen. Die Sedimentierung setzt sich auf weniger auffällige Weise an geschützten Plätzen bis heute fort. Die Holozän-Geschichte der Talsohlen-Travertine erfolgt in einer klimatischanthropischen Sequenz.

## INTRODUCTION

### UNE RÉGION EXEMPLAIRE (fig. 1)

Le midi méditerranéen français est exemplaire par la richesse et la diversité des travertins holocènes. À l'exception de la Provence cristalline, ils sont présents dans la plupart des vallées (Hérault, Lez, Huveaune, Argens, Caramy, Gapeau, Siagnole, etc.), ou représentés par des faciès équivalents (boues calcaires associées à des tourbes) dans les marais (plaine des Sorgues, Marais des Baux, Tourves, etc.) et les lagunes littorales.

Ces dépôts ont fait l'objet de nombreux travaux depuis deux siècles (Blot, 1983). L'étude des « pétrifications » calcaires de rivière a débuté en Languedoc au XVIII<sup>e</sup> siècle. Le mot tuf a été employé pour la première fois dans une communication scientifique à Montpellier (De Joubert, 1778). En Provence, les tufs du pourtour de la montagne Sainte-Victoire, de l'Huveaune, de l'Argens et du Gapeau ont été étudiés plus tard (Saporta, 1860, 1867). Des programmes pluridisciplinaires PIREN et CNRS ont permis récemment la découverte de nouveaux édifices et la révision chronostratigraphique des sites clés du Val de Durance (Meyrargues) et de la vallée de l'Huveaune (Pont-de-Joux).

Omniprésents dans les vallées des piémonts, les travertins holocènes s'observent également à l'étage montagnard (Causses majeurs, Préalpes du sud), voire subalpin (col du Lautaret, 2000 m). Ils se localisent plus souvent dans les reculées et vallons secondaires que dans les vallées principales. Leur inventaire est loin d'être achevé : certains sont masqués par des colluvions anthropiques, d'autres se distinguent mal des travertins plus anciens. La plupart des édifices sont en rapport avec des reliefs karstiques calcaires et dolomitiques, qui fournissent des eaux calcimagnésiques, fraîches et peu turbides, liées à des émergences karstiques. Dans les Pyrénées orientales et les Corbières, entre l'Aude et la Têt, les sources sont caractérisées par de petites anomalies thermiques et chimiques, qui soulignent une contribution de CO<sub>2</sub> profond (Bakalowicz *et al.*, 1988). La température moyenne des eaux varie entre 16° et 26°C, alors qu'elle se situe à cet étage thermoméditerranéen entre 10 et 14°C. À Maury, Saint Paul-de-Fenouillet et Caramany, ces eaux possèdent des  $\delta^{13}\text{C}$  compris entre -7,8 et -10,8 ‰ P.D.B., supérieurs à ceux des sources à CO<sub>2</sub> biogénique, et les bicarbonates des travertins ont un  $\delta^{13}\text{C}$  élevé compris entre -5,0 et -10,2 ‰ P.D.B.. Dans les Hautes-Alpes, au col du Lautaret et à Monetier-les-Bains, les travertins dépendent d'eaux thermominérales (températures comprises entre 30°C

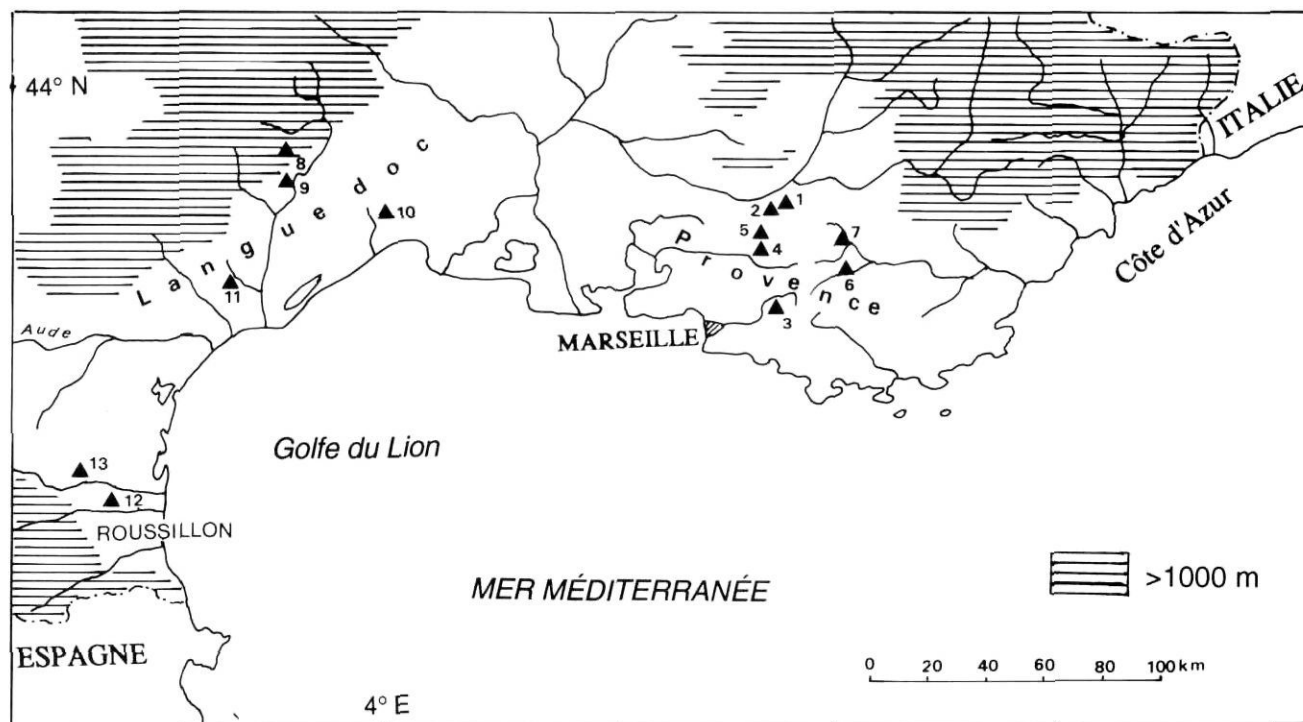


FIGURE 1. Localisation des formations travertineuses holocènes : 1) Jouques (ruisseau de Saint-Bachi, Val de Durance), 2) Meyrargues (Grand Vallat, Val de Durance), 3) Pont-de-Joux (Huveaune, Auriol), 4) cascade de Saint-Antonin (R. Bayon), 5) Vauvenargues (vallée de l'Infernet), 6) Seillons-sources d'Argens (haute vallée de l'Argens), 7) Le Jonquier (Fontbrégoua, Salernes), 8) Tourves, Var (La Foux), 9) col du Lautaret (haute Guisane), 10) Le Martinet (R. Lez, Castelnau-le-Lez), 11) La Resclauze (vallée de la Tongue, Gabian), 12) Saint-Guilhem-le-Désert (R. Verdus), 13) Madières (gorges de la Vis), 14) Caramany (vallée de l'Agly), 15) Maury (vallée affluente de l'Agly).

Location of the main Holocene formations. 1) Jouques (ruisseau de Saint-Bachi, Val de Durance), 2) Meyrargues (Grand Vallat, Val de Durance), 3) Pont-de-Joux (Huveaune, Auriol), 4) Saint-Antonin cascade (R. Bayon), 5) Vauvenargues (valley of the Infernet), 6) Seillons-Argens spring (upper valley of the Argens), 7) Le Jonquier (Fontbrégoua, Salernes), 8) Tourves, Var (La Foux), 9) col of the Lautaret (haute Guisane), 10) Le Martinet (R. Lez, Castelnau-le-Lez), 11) La Resclauze (valley of the Tongue, Gabian), 12) Saint-Guilhem-le-Désert (R. Verdus), 13) Madières (gorge of the Vis), 14) Caramany (valley of the Agly), 15) Maury (tributary of the Agly).

et 80°C, fortes teneurs en bicarbonates, fer et sulfates) connues depuis les Romains (Mlakar, 1992).

## PROBLÉMATIQUE

Les travertins de fond de vallée forment des barrages qui entravent l'écoulement des eaux et en arrière desquels se développent des lacs et zones palustres, pièges à sédiments carbonatés, organiques ou détritiques. Ils nous renseignent sur la morphodynamique fluviale et les paléoécoulements, l'histoire de la végétation et des sols et l'occupation humaine (Vaudour, 1986 a; Magnin *et al.*, 1991). L'interprétation paléogéographique de leur évolution holocène est pourtant délicate, car on apprécie mal le poids respectif du facteur climatique et du facteur anthropique. Pour surmonter cette difficulté, nous recourons à l'étude comparée d'édifices travertineux sélectionnés en fonction des critères suivants : 1) localisation actuelle à l'étage bioclimatique méditerranéen subhumide; 2) chronostratigraphie étayée par des données pluridisciplinaires (géologie, géomorphologie, palynologie, anthracologie, malacologie, préhistoire et histoire) et des datations isotopiques; 3) possibilités de restitution du milieu naturel à l'aube des premiers défrichements; 4) connaissance de l'occupation humaine et de son impact, ainsi que des phases d'abandon, du Néolithique, voire du Mésolithique, à nos jours.

Nous partons de l'hypothèse que les variations climatiques devraient se traduire, dans des vallées aussi proches que celles de la Provence, du Languedoc et du Roussillon, par des phénomènes naturels synchrones, les périodes plus humides, sinon plus chaudes, induisant une travertinisation active, corrélative d'un optimum climatique forestier, et les périodes plus sèches, une dégradation des écoulements et de la travertinisation. Inversement, les aléas de l'occupation humaine et de son impact (telle vallée soumise à une forte pression, alors que la vallée voisine est épargnée) devraient se manifester par des disparités dans l'évolution des travertins. Cet essai propose une synthèse à la lumière de nos propres observations et des travaux récents (Vaudour, 1988; Vernet et Vaudour, 1990; Ambert, 1991; Degaugue, 1991; Degaugue et Guendon, 1992, etc.).

## LES ÉDIFICES TRAVERTINEUX HOLOCÈNES

### LES LITHOFACIÈS

Les édifices travertineux holocènes du Midi de la France regroupent trois types de lithofaciès :

1) des tufs ou travertins, cohérents ou meubles (Geurts, 1976a et b; Viles et Goudie, 1990), représentés par : a) des travertins s.s. ou des stromatolithes, à structure rubanée ou laminaire, d'origine algale ou algo-bactérienne (Adolphe, 1981; Casanova, 1981); b) des tufs à empreintes végétales (feuilles, fruits, tiges) ou animales (larves de Phryganes); c) des boues calcaires pulvérulentes ou « craies » (taux de  $\text{CaCO}_3 > 80\%$ ), pauvres en éléments détritiques, enrobant parfois dans leur masse des particules organiques; d) des sables travertineux constitués de fines concrétions calcaires, des carbonates cytomorphes ou aciculaires (Brochier, 1988); e) des faciès carbonatés remaniés à oncolithes.

2) des sédiments détritiques grossiers (blocs soliflués, éboulis, graviers fluviaux, etc.) ou fins (limons, sables, argiles);

3) des formations organiques : tourbes (alcalines à l'étage thermoméditerranéen, acides à l'étage subalpin), sols calcimagnésiques superficiels et sols argileux foncés, hydromorphes et parfois vertiques en profondeur.

L'originalité des édifices travertineux holocènes réside dans la présence de colluvions anthropiques, mises en évidence par des témoignages archéologiques (céramiques, esquilles osseuses, éclats de silex et autres artefacts) ou géoarchéologiques : charbons ou cendres dans la fraction fine, concrétions brûlées dans la fraction sableuse, etc. (Brochier, 1983, 1988; Degaugue, 1991; Degaugue et Guendon, 1992).

Comme les lithofaciès des édifices pléistocènes, les lithofaciès holocènes s'organisent en séquences auxquelles nous appliquons les méthodes de l'analyse stratigraphique (Lombard, 1972).

### LES SÉQUENCES SÉDIMENTAIRES

Elles ont été étudiées dans des situations variées : barrages et cascades à Saint-Antonin-sur-Bayon et Vauvargues, remplissages palustres du Pré de la Ville à Meyrargues et du vallon du Jonquier à Salernes, remplissage lacustre de l'Infernet à Saint-Guilhem-le-Désert ou terrasses travertineuses à Pont-de-Joux et Madières. Quatre coupes, choisies dans des situations géomorphologiques représentatives, ont été retenues à titre d'exemples.

#### Exemples de lithostratigraphies

1) La coupe de référence (Saporta, 1860; Guendon et Vaudour, 1981; Magnin et Thion, 1988, Campy et Macaire, 1989) est celle de la cascade de Saint-Antonin-sur-Bayon, sur le versant sud de la montagne Sainte-Victoire, dans les environs d'Aix-en-Provence. Puissante de 13 m, elle offre trois ensembles travertineux séparés par des épisodes détritiques d'importance croissante vers le haut. L'ensemble inférieur, qui repose sur des blocs soliflués ou éboulés, comporte des barrages algaires puis des dômes stromatolithiques passant à des faciès algobryophytiques. Après un niveau déritique, l'ensemble médian est constitué par des barrages algaires et des gours surmontés par un travertin de cascade. L'ensemble supérieur, qui surmonte une décharge de limons gris, est formé par des tufs à empreintes à passées détritiques couronnés par une rendzine (fig 2).

L'étude malacologique montre que les espèces palustres de roselières ou phragmitaies sont présentes à tous les niveaux, les espèces aquatiques abondent dans l'ensemble inférieur et les taxons forestiers (*Pomatias elegans*) prédominent dans l'ensemble médian. Les niveaux détritiques supérieurs sont caractérisés par *Candidula gigaxii*, mollusque des formations herbacées-ligneuses basses et sèches. Les vestiges anthracologiques corroborent ces données : les taxons héliophiles prédominent à tous les niveaux, la chénaie caducifoliée se renforce dans la partie médiane et des espèces de formations ouvertes (*Juniperus* sp. et



*Sambucus nigra* caractérisent les niveaux détritiques néolithiques (Magnin et Thinon, 1988).

Les niveaux inférieur et médian sont attribués au Préboréal. Une datation au  $^{14}\text{C}$  sur des charbons récoltés à la base de l'ensemble médian a donné  $9440 \pm 210$  ans BP (MC-1709). Au-dessus des limons gris, qui contiennent des tessons difficiles à identifier (Chasséen?), l'ensemble supérieur est daté du Subboréal par un mobilier du Néolithique final (D'Anna et Courtin, 1986).

2) La coupe du Jonquier (Farizier, 1980; Degaugue, 1991; Degaugue et Guendon, 1992) représente le remplissage amont d'un barrage travertineux du vallon de Fontbrégoua (Salernes, Var). Elle comporte 44 niveaux regroupés en trois ensembles (fig. 3 et 4).

- À la base, un paléosol argilo-sableux brun rouge (45 cm) repose sur le substratum calcaire rognacien.

- Au centre, un ensemble carbonaté (environ 4 m) débute par des travertins à empreintes surmontés par des faciès à

bryophytes. Dans les travertins stromatolithiques médians s'intercalent des niveaux crayeux et des niveaux terrigènes à tessons de céramiques et lamelles de silex du Néolithique moyen. Une datation au radiocarbone ( $5685 \pm 115$  ans BP, soit 3735 BC) sur charbons d'un foyer précise leur appartenance au Chasséen. L'ensemble s'achève par des faciès détritiques dans lesquels s'intercalent deux minces niveaux de travertins à bryophytes. Le plus récent est daté au radiocarbone  $4350 \pm 100$  ans BP (MC 1394).

- Au sommet, une colluvion sablo-limoneuse brune (30 cm), attribuée au Bronze par l'analyse géoarchéologique (Degaugue et Guendon, 1992).

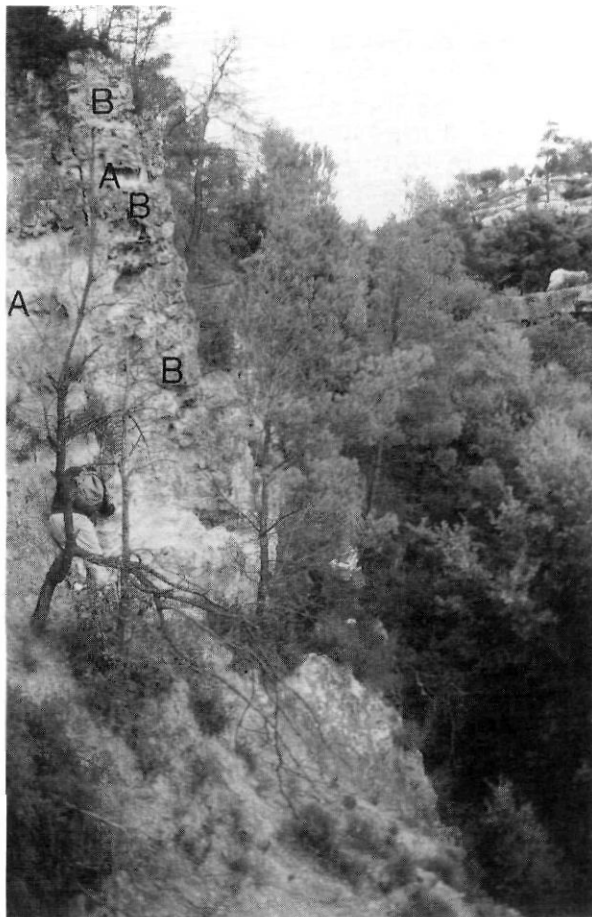


FIGURE 2. Coupe de Saint-Antonin (B-du-R): ensemble détritico et travertineux supérieur (A: faciès détritico, B: tuf à empreintes), rive droite du Bayon en aval de la cascade. On remarque l'importance de l'entaille historique.

The Holocene tufas of Saint-Antonin (B-du-R): detritic (A) and travertine facies (B) of the upper formation. Section on the right bank of the Bayon. Notice large historic time downcutting.

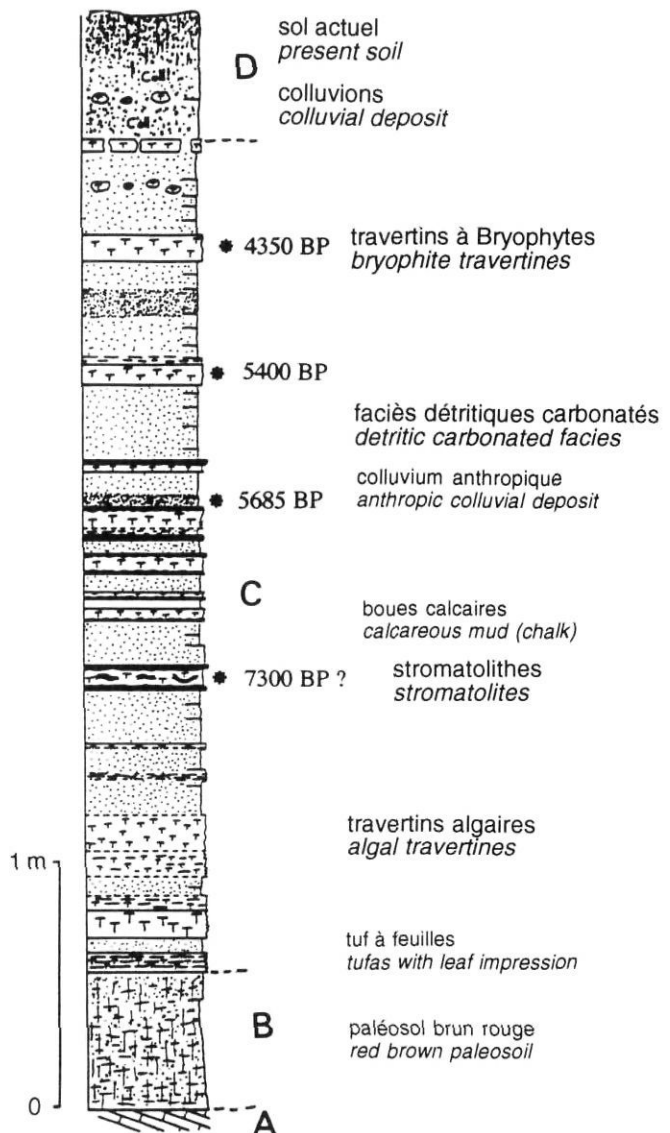


FIGURE 3. Les tufs du vallon du Jonquier (Var, coupe lithostratigraphique d'après Degaugue (1991). A: substratum calcaire (Rognacien), B: paléosol brun rouge, C: faciès carbonatés, D: colluvions et sol actuel.

Tufas of the valley of the Jonquier (Var). Lithostratigraphic section after Degaugue (1991). A: limestones (Rognacian), B: red brown paleosoil, C: carbonated facies, D: colluvial deposits and present soil.

3) Dans la vallée du Verdus à Saint-Guilhem-le-Désert (Hérault), la stratigraphie holocène du système de l'Infernet comporte trois ensembles (Ambert, 1982, 1991; Ambert et Gascó, 1989).

- L'ensemble inférieur repose sur des éboulis et blocs éboulés fournis par les versants de la reculée karstique. La construction travertineuse est constituée par des dômes stromatolithiques et des gours remplis de sables dolomitiques riches en charbons de bois datés au  $^{14}\text{C}$  :  $7110 \pm 60$  ans BP (Ly-1767). Elle aurait débuté à l'Holocène ancien (Ambert et Gascó, 1989), si on accepte, malgré les réserves de Vernet (1987), la datation au radiocarbone à  $10\,000 \pm 200$  ans BP (Ly-4345) obtenue sur charbons de *Taxus baccata* et *Pinus* récoltés à sa base.

- L'ensemble médian, formé de sables dolomitiques surmontant un faciès graveleux de cône détritique (6 m d'épaisseur) n'est pas encore daté. Il ne comporte pas de vestiges d'occupation. Des charbons prélevés à son toit et à son mur permettront de vérifier s'il coïncide ou non avec l'intensifica-

tion de l'occupation humaine constatée dans le haut bassin du Verdus au Néolithique final et au Chalcolithique (Ambert et Gascó, 1989)

- Le remplissage lacustre supérieur (5 m), connu grâce à deux sondages archéologiques au niveau du gué des Gours, comporte une alternance de débris travertineux remaniés et de sables limoneux ou de limons foncés riches en matières organiques (fig. 5). Il est attribué au Bronze par les vestiges archéologiques (céréales, céramique). Une datation au radiocarbone de  $3440 \pm 80$  ans BP (MC 2163) a été obtenue en rive droite dans un niveau homologue. Le comblement s'achève à l'époque romaine par un faciès de marécage d'âge au radiocarbone de  $2070 \pm 80$  ans BP (Ly-4546), soit  $-345$  à  $+70$  ap. J.-C., recouvert lui-même par des colluvions grossières riches en vestiges anthropiques.

4) À Pont-de-Joux (Auriol, B-du-R), la stratigraphie de la terrasse travertineuse holocène principale, en contre-bas de

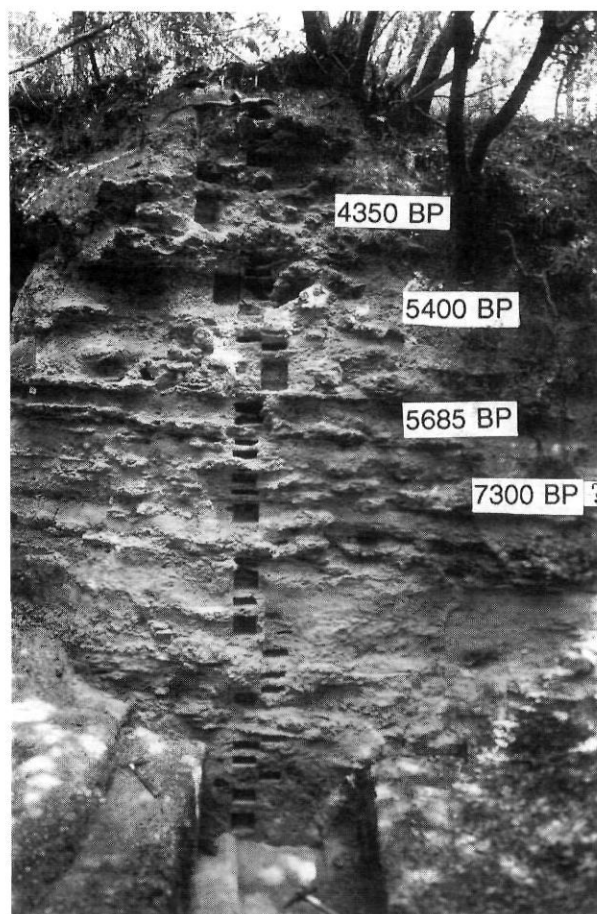


FIGURE 4. Les tufs du vallon de Jonquier (Salernes, Var). Coupe de Farizier (1980) et, dans la partie inférieure, sondage de Degaugue (1991). Alternance de faciès carbonatés clairs (« craies » et travertins) et de faciès colluviaux ou anthropiques foncés.

*Holocene tufas in the valley of the Jonquier (Salernes, Var). Drill sequence by Farizier (1980) and Degaugue (1991). Light carbonated (travertines and chalk tufas) and dark facies of colluvial and anthropic origin.*



FIGURE 5. Sondage archéologique dans le remplissage lacustre de l'Infernet, rive gauche du Verdus (Ambert et Gascó, 1989). A : sables dolomitiques (Néolithique supérieur?), B : limons foncés et travertins remaniés palustres et lacustres (du Bronze ancien à l'époque romaine), C : colluvions anthropiques historiques.

*Lacustrine filling of the Infernet on the left bank of the Verdus (Ambert and Gascó, 1989). A : dolomitic sands (upper Neolithic age?), B : lacustrine deposits (dark silt and travertine granules) from lower Bronze age to the Roman age, C : historic time colluvial deposits.*

la terrasse du Pléistocène supérieur, est fournie par deux coupes complémentaires, de part et d'autre de l'Huveaune (D'Anna *et al.*, 1988). En rive droite, sur un cailloutis calcaire surmonté de limons jaunes puis gris, on observe 7 m de tufs crayeux blanchâtres, stratifiés, à lits de craies argileuses et cendreuse (figs. 6, 7 et 9). Une datation au radiocarbone sur charbons de chêne caducifolié a donné  $7180 \pm 150$  ans BP (Ly-4291) à leur base. En rive gauche, la séquence (fig. 8) comporte de bas en haut : des limons crayeux jaunes, des travertins laminés à algues, des tufs crayeux à nodules calcaires, des lentilles détritiques à galets et fragments anguleux de calcaire, des sables travertineux, des limons gris, des sables travertineux fins et une alternance de travertins à roseaux couchés remaniés, de travertins laminés à empreintes de branches, de sables travertineux à oncolithes, de travertins laminés et à manchons de roselière. Le niveau détritique à galets a fourni un mobilier archéologique remanié attribué au Néolithique final-Chalcolithique ancien, les sables travertineux renferment des graines de céréales carbonisées (blé et orge) et des charbons de *Pinus halepensis*, *Ulmus campestris*, *Quercus* sp., *Juniperus communis* datés  $3710 \pm 160$  ans BP (Ly-4515).

La terrasse historique, constituée de tufs à roseaux recouverts par un colluvium à tessons d'âge moderne, est médiévale.

#### Des lithoséquences complexes

La sédimentation est essentiellement carbonatée au niveau des dômes et des cascades (Saint-Antonin, Vauvenargues), plus organique et plus déritique dans les remblaiements lacustres ou palustres (Saint-Guilhem, Grand Vallat de Meyrargues, vallée supérieure de l'Argens, La Resclauze). Les lithoséquences débutent par des formations déritiques grossières (blocs soliflués, galets, etc.) puis fines

(limons bruns ou jaunes) ou un paléosol rougeâtre. La partie médiane des coupes comporte des formations carbonatées (craies, stromatolithes) ou organiques (tourbes). La partie supérieure comporte des sables travertineux, des limons et des sols argileux foncés hydromorphes et elle s'achève par des colluvions anthropiques et des sols calcimagnésiques. On retrouve les grandes lignes des enchaînements définis par Vaudour (1986a) et Magnin *et al.* (1991), mais on est en présence de séquences complexes (Campy et Macaire, 1989), avec des disparités dans le nombre des niveaux travertineux, les dates du début et de l'achèvement de la construction et la position des niveaux intercalaires colluviaux ou charbonneux, qu'il convient d'examiner de plus près.

### UNE ÉVOLUTION EN TROIS TEMPS

Les édifices travertineux montrent, au cours de l'Holocène, une évolution en trois temps, qui ne sont pas rigoureusement synchrones dans les différentes vallées (fig. 10).

#### LA CONSTRUCTION DES BARRAGES ET LE REMBLAIEMENT DES VALLÉES JUSQU'À L'ATLANTIQUE FINAL

Le premier temps est celui de la construction des édifices. Leur hauteur n'est pas négligeable : 10 à 15 m à Saint-Antonin et Pont-de-Joux, 20 m à Saint-Guilhem et Vauvenargues, mais elle n'atteint pas celle des barrages pléistocènes (40 m à Saint-Vincent, Roquevaire). Le cœur des barrages est constitué par des faciès stromatolithiques de dômes ou de cascade. La construction carbonatée, contemporaine des derniers éboulis ou dépôts soliflués périglaciaires, commence dès le Préboréal à Saint-Antonin, Vauvenargues et Saint-Guilhem-le-Désert, sous un climat encore froid. Elle se poursuit au Boréal, alors que se développe la chênaie caducifoliée. À Vauvenargues, sur un

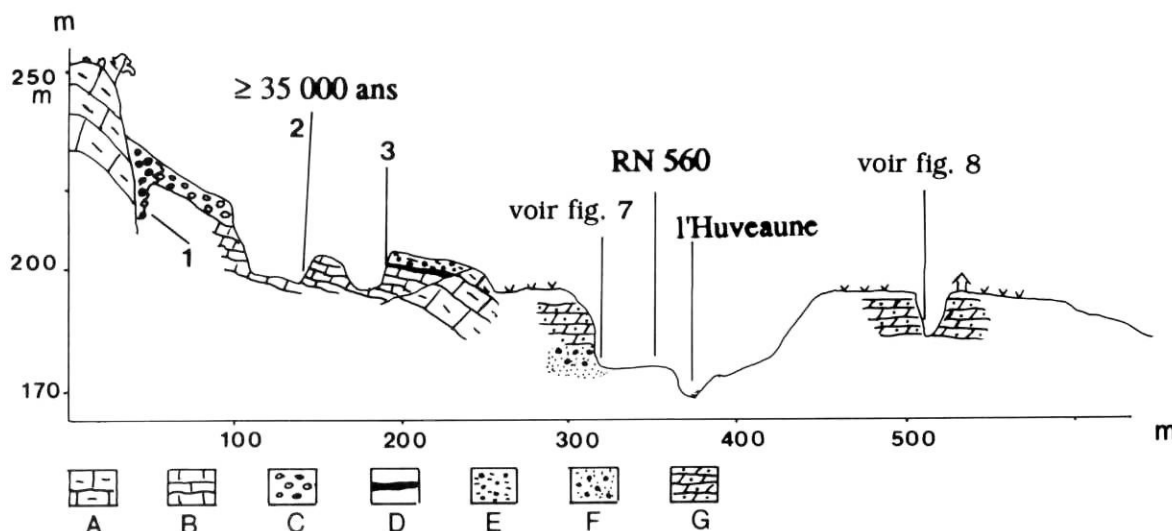


FIGURE 6. Les formations travertineuses de la vallée de l'Huveaune à Pont-de-Joux (Auriol). Coupe schématique à travers les terrasses de travertins : A : calcaires crétacés, B : tufs du Pléistocène supérieur, C : brèches de versant, D : paléosol brun encroûté, E : colluvions, F : alluvions, G : tufs holocènes. 1) Dents de *Cervus elaphus* Lin., 2) charbons de *Pinus sylvestris*, à caractères de *Pinus salzmanii*, 3) racloir moustérien.

Travertine formations of Pont-de-Joux (valley of the Huveaune, Auriol). Schematic section of travertine terraces : A : Cretaceous limestone, B : Late Pleistocene tuffs, C : talus breccia; D : carbonated brown paleosoil, E : colluvial deposits; G : Holocene tuffs. 1) Tooth of *Cervus elaphus* Lin., 2) *Pinus sylvestris* charcoal with *Pinus salzmanii* characteristics, 3) Mousterian scraper.



site de cascade il est vrai, 13 m de travertins sont édifiés en un millénaire entre  $9200 \pm 175$  BP (MC 1653) et  $8055 \pm 130$  BP (MC 1654) (Delgiovine, 1988). La construction débute à Pont-de-Joux et Meyrargues aux environs de 7000 ans BP. À la Resclauze, la couche la plus ancienne atteinte par le sondage Mailhé est cardiale (âge au  $^{14}\text{C}$  :  $6450 \pm 100$  ans BP, soit 4500 ans BC). Sur la bordure causenarde, deux datations au radiocarbone situent la terrasse travertineuse de la Vis à Madières aux alentours de 6100-6200 ans BP (Ambert, 1982). Au col du Lautaret, le dôme de la Guisane est construit, d'après deux datations U/Th effectuées par Y. Quinif, à Mons, sur des échantillons prélevés au mur et au toit des travertins, à  $5700 \pm 500$  et  $4700 \pm 600$  (Mlakar, 1992). À l'Atlantique, la sédimentation travertineuse est généralisée. Elle se manifeste par les travertins les plus purs, notamment les faciès stromatolithiques. Ils se développent à la faveur d'un optimum biostasique forestier attesté par les macrorestes végétaux, la palynologie et les malacofaunes (Vaudour *et al.*, 1988; Vernet et Vaudour, 1990). Cependant, au cours de l'Atlantique, on note des « accidents » sédimentaires détritiques (Le Jonquier, Saint-Antonin, Vauvenargues et La Resclauze) dont l'interprétation (courtes oscillations climatiques ou manifestations précoces de la pression anthropique?) est délicate. Selon Brochier (1988), les périodes d'assèchement et d'interruption de la sédimentation carbonatée dans le marais entre

4500-4000 BC puis aux alentours de 3400 BC qui interviennent à La Resclauze, comme dans l'ensemble du Midi méditerranéen, alors que l'implantation humaine est discrète, sont liées à de courtes crises rhéxistatiques. Par contre, selon Nicol-Pichard (1987), la séquence pollinique de la Foux de Tourves, en Provence orientale, montre en continu, à partir de 7000 ans BP, une meilleure représentation des Chénopodiacées ou d'espèces très rares auparavant,

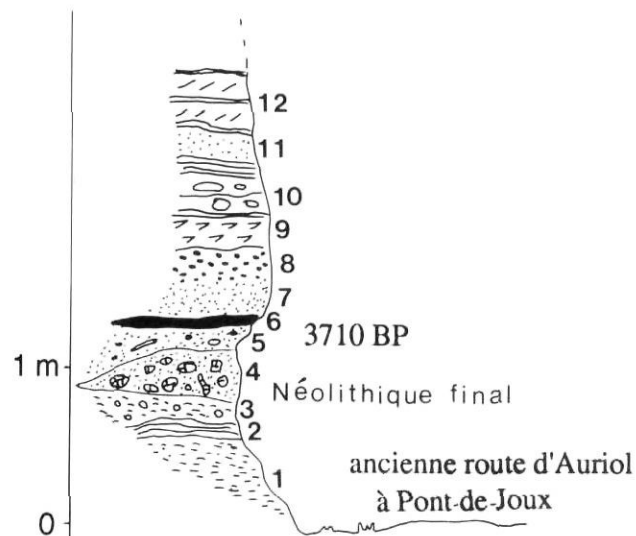


FIGURE 8. Séquence des tufs holocènes en rive gauche à Pont-de-Joux : 1) limons crayeux jaunes, 2) travertins algaire, 3) tufs crayeux à nodules, 4) lentille détritique et mobilier archéologique remanié, 5) sables travertineux, tessons, grains de céréales et charbons de bois, 6) limons gris, 7) sables travertineux fins, 8) sables travertineux grossiers, 9) tufs à roseaux, 10) travertins laminés, 11) sables travertineux et oncolithes, 12) travertins laminés.

Holocene tufas sequence on the left bank (Pont-de-Joux) : 1) yellow chalk silts, 2) algal travertines, 3) chalk tufas with nodules, 4) clastic lens with reworked archeological furniture, 5) travertine sands, portsherds, cereal grains, charcoal, 6) grey silts, 7) fine travertine sands, 8) coarse travertine sands, 9) tufas with leaf impressions, 10) layered travertines, 11) travertine sands and oncolithes, 12) layered travertines.

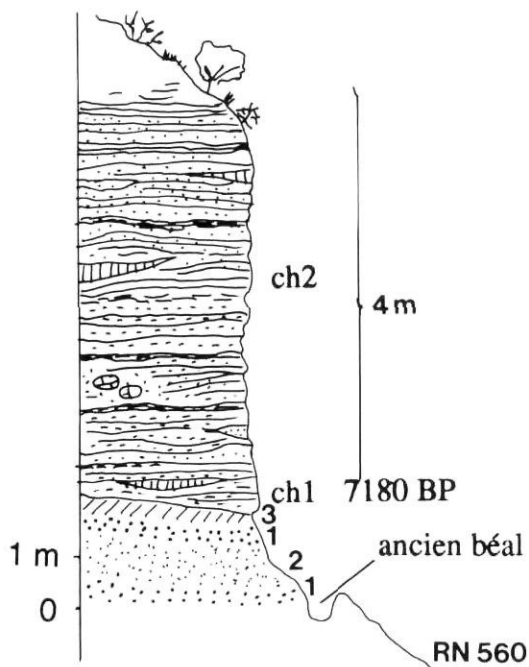


FIGURE 7. La formation travertineuse holocène en rive droite à Pont-de-Joux : 1) cailloutis calcaires, 2) limons jaunes, 3) limons gris, 4) tufs crayeux, craies argileuses et cendreuses, charbons de *Quercus* sp. (*pubescens* ?) (ch1) datés à  $7180 \pm 150$  BP (Ly-4291) et de *Salix alba*, *Vitis vinifera* (ch2).

Section of the Holocene travertine formation on the right bank at Pont-de-Joux. 1) Calcareous clasts, 2) yellow silts, 3) grey silts, 4) chalk tufas, ash and clay chalk, *Quercus* sp. (*pubescens* ?) charcoal (ch1) dated  $7180 \pm 150$  BP (Ly-4291) and *Salix alba*, *Vitis vinifera* charcoal (ch2).

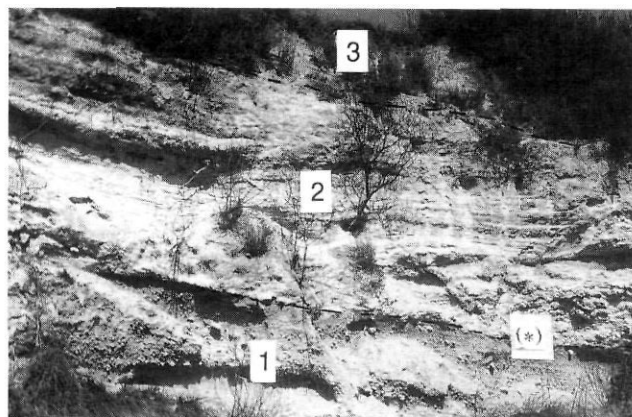


FIGURE 9. Coupe des travertins holocènes de Pont-de-Joux, rive droite de l'Huveaune. 1) niveaux détritiques, 2) tufs crayeux, 3) col-luvions (\*âge au  $^{14}\text{C}$  de  $7180 \pm 150$  BP, Ly-4291).

Holocene travertine section at Pont-de-Joux, on the right bank of the Huveaune : 1) detritic levels, 2) chalk tufas, 3) colluvial deposit (\*)  $^{14}\text{C}$  dated  $7180 \pm 150$  BP (Ly-4291).



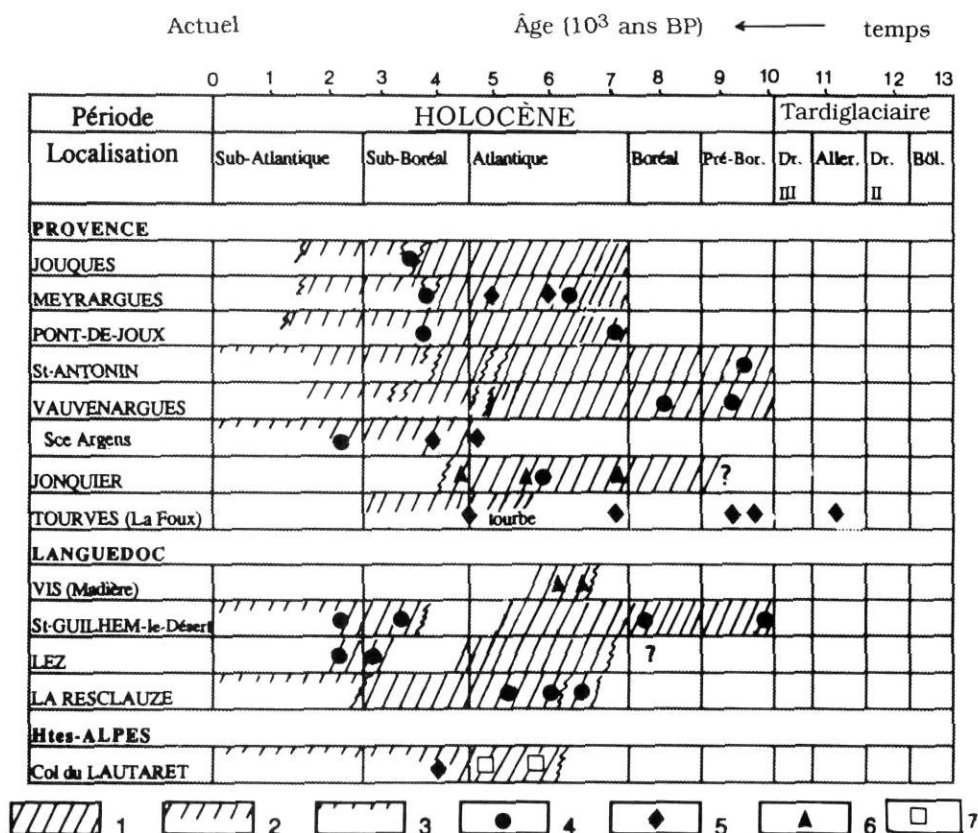


FIGURE 10. Les périodes de construction des systèmes travertineux du Midi de la France à l'Holocène d'après Vaudour (1986a) et données plus récentes : 1) construction rapide, 2) construction lente, 3) micro-barrages et vasques fonctionnels, 4) âge au <sup>14</sup>C sur charbon de bois, 5) âge au <sup>14</sup>C sur tourbes intercalaires, 6) âge au <sup>14</sup>C sur travertins, 7) âges U/Th sur travertins.

Periods of travertine formation in the Mediterranean south of France during the Holocene, after Vaudour (1986a) and more recent data : 1) rapid deposition, 2) slow deposition, 3) active micro-barrier and basins, 4) <sup>14</sup>C age on charcoal, 5) <sup>14</sup>C age on interbedded peat, 6) <sup>14</sup>C age on travertines, 7) U/Th age on travertine.

comme *Plantago*, qui témoigne « sans aucun doute d'une action humaine ».

En arrière des dômes travertineux se développent de petits « lacs » (300 m × 100 m pour l'Infnet) ou zones palustres (Meyrargues, Tourves, la source de l'Argens) dans lesquels s'accumulent des boues calcaires (« craies ») ou des tourbes alcalines à passées de tufs à peu près synchrones de la construction des barrages (tabl. I). À Tourves, dans le vallon de la Foux, au-dessus des limons bruns organiques de l'Alleröd et du début du Préboréal, près de 10 m de tourbe compacte à fragments végétaux et lentilles de tufs se déposent entre 9220 ± 130 ans BP (Ly-3686) et 4480 ± 150 ans BP (Ly-3646) (Nicol-Pichard, 1987). À Meyrargues, 9 m de tourbes se déposent entre 7060 ± 220 ans BP (Ly-4292) et 3990 ± 200 ans BP (Ly-4134), dont la moitié en un millénaire, entre 6030 ± 170 ans BP (Ly-4107) et 5020 ± 140 (Ly-4106). La malacofaune associée à ces tourbes indique des eaux permanentes, pures et limpides (Magnin, 1991).

#### LA PÉRIODE CHARNIÈRE DU NÉOLITHIQUE MOYEN À L'ÉPOQUE ROMAINE

Le deuxième temps est caractérisé par l'arrêt, le ralentissement ou des récurrences de la travertinisation et la progression du colluvionnement. Il se place entre l'achèvement des barrages et le début de leur démantèlement, soit approximativement entre le Néolithique moyen et le début de notre ère. Il débute avec les épisodes détritiques à 5400-5000 ans BP (bassin de la Bresque, pourtour de la montagne Sainte-Victoire ou vallée du Verdu), vers 4000-3800 ans BP à Pont-de-Joux et à Meyrargues. Il s'achève avec la *pax romana* sur

la plupart des sites. Pendant cette période charnière, les travertins algaires et les stromatolithes cèdent la place à des tufs à empreintes, à des sables travertineux et surtout à des colluvions limono-argileuses riches en artefacts, tandis que les tourbes et les craies lacustro-palustres sont relayées par des tufs de marécages (la Foux, à Tourves) ou des sols noirs argileux (sortie nord d'Auriol). On distingue deux cas :

1) La construction travertineuse se poursuit plus lentement et sous une forme dégradée durant tout le Subboréal, après un accident détritique tardif et bref vers 4000 ans BP. C'est le cas de Pont-de-Joux, en rive gauche de l'Huveaune, où plusieurs mètres de tufs à roseaux remaniés et de tufs à oncolithes se déposent au-dessus des sables travertineux datés 3710 ± 160 ans BP (Ly-4515) et des poches détritiques à mobilier archéologique du Néolithique final-Chalcolithique ancien (fig. 8). De même, dans le Grand Vallat de Meyrargues, comme à Jouques, la sédimentation travertineuse se poursuit après 3710 ± 160 ans BP, malgré la présence de l'homme attestée par des céramiques et des graines carbonisées (Magnin, 1991). Ce type d'évolution caractérise les vallées où la présence de l'homme est peu marquée ou inconnue au Néolithique ancien et moyen.

2) Après des « accidents » détritiques à l'Atlantique, la construction travertineuse s'interrompt définitivement (ou se déplace vers l'aval) au cours du Subboréal. En Provence orientale, dans le bassin de la Bresque, l'ultime récurrence de Saint-Pierre de Tourtour se développe entre le Cardial et le Bronze final, celle de la Florielle, près de Flayosc, après le Néolithique cardial ancien (D'Anna et Courtin, 1986). Au Jonquier, après les épisodes colluviaux du Cardial et du

TABLEAU I

*Datation isotopique au  $^{14}\text{C}$  de tourbes et de sols noirs organiques associés aux travertins holocènes*

Sites	N° comptage	Âges	Références
Jouques (B-du-R)	GiY-5450	3850 $\pm$ 110	Nicol-Pichard, 1982
Meyrargues (B-du-R)	Ly-4134	3990 $\pm$ 200	Magnin <i>et al.</i> , 1991
	Ly-4106	5020 $\pm$ 140	
	Ly-4107	6030 $\pm$ 170	
Pré de la Ville	Ly-4292	7060 $\pm$ 220	
Seillons (Var)	Ly-2218	2200 $\pm$ 100	Triat-Laval et Reille, 1981
Source d'Argens, Vallée de l'Argens	Ly-2219	4080 $\pm$ 130	
	Ly-2220	4650 $\pm$ 110	
Tourves (Var)	Ly-3646	4480 $\pm$ 150	Nicol-Pichard, 1987
Vallon de la Foux	Ly-3645	7050 $\pm$ 150	
	Ly-3686	9220 $\pm$ 130	
	Ly-3643	9640 $\pm$ 150	
	Ly-3642	11 330 $\pm$ 200	
Col du Lautaret, haute Guisane (Hautes-Alpes)	GiY-9038	3930 $\pm$ 200	Mlakar, 1992

Chasséen, la dernière récurrence, plus modeste, est représentée par les travertins à bryophytes datés à 4350  $\pm$  100 ans BP. Elle s'achève au Néolithique final, avant le colluvium anthropique du Bronze. La Provence occidentale offre d'autres exemples de récurrences au Subboréal à Saint-Antonin et Vauvenargues. En Languedoc, alors que le dôme travertineux du Martinet, dans la vallée du Lez, est achevé au Chalcolithique, celui de l'Infernet, dans la vallée du Verdus, montre une pause au Néolithique final-Chalcolithique ancien et une ultime récurrence au Bronze.

Ces disparités d'évolution dans des vallées très proches concernent des secteurs fortement occupés au Mésolithique et surtout au Néolithique ancien et moyen, comme le vallon de la Fontbrégoua. Elles ne paraissent pas directement liées à des causes climatiques.

#### LE DÉMANTÈLEMENT DES BARRAGES ET LE CREUSEMENT DES VALLÉES

Le troisième temps est celui du démantèlement des barrages et du creusement des vallées, à la fois ample (10 à 20 m) et rapide (moins d'un millénaire). L'encaissement des talwegs dans le remblaiement holocène principal (achevé au Chalcolithique ou à l'époque gallo-romaine), s'effectue entre la *Pax romana* et le Moyen Âge. Il se réalise en deux étapes, une petite terrasse médiévale ou moderne étant généralement emboîtée dans la terrasse principale à Pont-de-Joux, Saint-Antonin, Saint-Guilhem, Bornègre, etc. À Pont-de-Joux, il a été probablement favorisé par l'implantation de la voie romaine (mise en évidence lors de la construction de l'autoroute A52), après drainage des roselières (fig. 8, niveau 12). À Gabian, le colmatage du marais de la Resclauze s'achève par une argile tuffacée datée de la fin du I<sup>er</sup> siècle-début du II<sup>e</sup> siècle ap. J.-C, qui surmonte des tufs blanchâtres

postérieurs à l'âge du Fer. Son incision débute avec la mise en service de l'aqueduc gallo-romain de Béziers (Ambert, 1988). À Saint-Guilhem, le comblement définitif du lac de l'Infernet se place vers 2070  $\pm$  80 ans BP (Ly-4546), soit le changement d'ère. L'essentiel du creusement de la vallée du Verdus s'opère avant le dépôt de la terrasse inférieure, attribuée au Moyen Âge ou au tout début de l'époque moderne (Ambert et Gascó, 1989). L'encaissement du réseau hydrographique dans le Midi de la France atteint souvent 10 à 15 mm/an, contre 7,8 à 8,7 mm/an dans la Sierra de Cañete (Andalousie) où il est considéré déjà comme « très rapide » par Cruz-Sanjulian (1981).

Le profil en long des talwegs actuels, souvent artificialisé comme le chenal d'étiage, comporte encore une succession de biefs ou de chutes en raison de l'importance des aménagements hydrauliques à l'époque historique.

#### LE RÔLE MORPHOLOGIQUE DE L'HOMME

Les travertins holocènes du Midi de la France sont localisés aujourd'hui dans des zones touchées par la déprise agricole, à vocation touristique ou récréative (parc de Saint-Pons à Gémenos; abbaye de Saint-Guilhem-le-Désert, abbaye de Valbonne, etc.). Dans le passé, ils ont exercé sur l'homme un attrait considérable, en raison de leurs multiples potentialités : lieux de refuge, de culte, de sépulture, eaux abondantes et de bonne qualité, vie pastorale dans les marais ou agriculture après drainage, force motrice liée aux chutes, matériau de construction d'extraction facile et zone d'habitat, etc. (Vaudour, 1986b, 1993). L'impact de l'occupation sur la sédimentation travertineuse a été considérable.

#### L'IMPACT DE L'OCCUPATION HUMAINE

La corrélation entre les niveaux intercalaires à charbons observés dans les édifices travertineux du Midi de la France et les périodes d'occupation du Mésolithique ou du Néolithique ancien (Cardial) est mal établie, encore que les historiens n'éliminent pas *a priori* cette hypothèse (D'Anna et Courtin, 1986). L'emprise de l'homme, attestée par des vestiges archéologiques ou géoarchéologiques est reconnue au Néolithique moyen (Chasséen) sur les sites du bassin de la Bresque ou du pourtour de la montagne Sainte-Victoire. Elle est toutefois temporaire et n'empêche pas la reprise de la sédimentation travertineuse, sous une forme grossière ou dégradée à La Resclauze (Brochier, 1988). Elle est indéniable au Néolithique final-Chalcolithique ancien, avec l'emprise des systèmes agro-pastoraux (D'Anna et Courtin, 1986). Dans le haut bassin du Verdus, la densité des sites archéologiques indique une occupation permanente des terroirs à cette époque, alors que le Bronze ancien correspond à une période de relâchement de la pression anthropique, qui permet la poursuite de la construction du dôme de l'Arrière (Ambert et Gascó, 1989).

À partir de la Protohistoire et surtout de l'époque gallo-romaine, avec les aménagements hydrauliques, urbains et industriels, la pression anthropique devient un facteur prépondérant de la morphogénèse dans les vallées karstiques à travertins. Pour alimenter en eaux domestiques les villes

(Béziers, Nîmes, Arles, Aix, Fréjus) ou en eaux industrielles de grandes meuneries (Barbégall, sur le rebord des Alpilles, les Romains captent les principales émergences de la région. L'impact des aqueducs antiques est considérable. L'Alzon après le captage de la Fontaine d'Eure et probablement le Bayon à Saint-Antonin après le captage de la Source du Château, ont été asséchés par des dérivations. La sédimentation travertineuse, stoppée dans les talwegs, se poursuit sur les parois (100 000 tonnes de concrétions en trois ou quatre siècles pour l'aqueduc de Nîmes). Dans la vallée du Bayon, le dôme de la Cascade de Saint-Antonin, balayé seulement par les eaux turbides de la rivière en crue, a été rapidement incisé (Vaudour, 1991).

La dégradation des barrages et des marais et roselières n'est pas toujours imputable aux Romains. Sur l'Argens, la sédimentation travertineuse continue sur le site du Tombereau (Bras, Var) au début de notre ère, malgré la présence d'un établissement artisanal (tuilerie?).

L'aménagement global des vallées à travertins s'effectue autour des abbayes (Gellone à Saint-Guilhem, Saint-Victor pour la vallée de l'Huveaune) au Moyen Âge central (900-vers 1215), alors que les moulins au fil de l'eau se multiplient et que des terroirs irrigués (jardins, prés de fauche) s'organisent à partir de dérivations appelées *resclaves*, en Provence, et *resclauzes*, en Languedoc (Durand, 1988). À l'époque moderne, des villages et des industries (papeteries, tanneries) génératrices de rejets polluants se développent sur les mêmes sites. Dans la vallée supérieure de l'Argens, les barrages artificiels implantés sur les bouchons travertineux favorisent alternativement, sur le même site, des phénomènes d'érosion mécanique, qui tendent à créer une « reculée » et un dépôt de tuf par agitation de l'eau, qui freine le recul (Nicod, 1986).

#### LA PERTE DU POUVOIR ENCROÛTANT DES CYANOPHYCÉES

La sédimentation travertineuse se poursuit de nos jours, sous une forme ralentie et discrète (barrages et « gours » de taille métrique), à l'amont des premiers villages et sur des sites non pollués reconquis par la forêt et propices à la conservation de « cénozoïques-reliques » (Casanova, 1981; Vaudour, 1986b, 1993). Parmi les causes actuelles susceptibles d'expliquer la perte du pouvoir encroûtant des Cyanophycées, alors que les eaux restent sursaturées en calcium, nous retiendrons :

1) l'aggravation de la variabilité hydrologique (crues plus brutales, débits d'étiage mieux marqués), due à la dégradation des sols et du couvert végétal sous l'effet cumulé des défrichements, labours et incendies, provoque une augmentation de la turbidité des eaux. Or, les travertins les plus purs se développent dans des eaux limpides et peu turbides. En milieu tempéré, leur activité décroît en zone de céréaliculture intensive (Gullentops et Mullenders, 1972). Dans le Midi méditerranéen, la responsabilité incombe à la viticulture mécanisée (Nicod, 1986; Martin, 1990). La présence d'impuretés charriées par les eaux (hydroxydes de fer et d'aluminium, argiles, matière organique) entrave le développement des biohermes, comme le suggère l'observation des concrétions

algaires de l'aqueduc antique de Nîmes. Les couches claires à cristaux sparitiques de ces dépôts laminés, similaires aux travertins du Var (Casanova, 1981) sont exclusivement constituées de calcium. Les impuretés charriées par l'eau (hydroxydes de fer et d'aluminium, argiles, matière organique) se localisent à la périphérie des cristaux, dans la zone des filaments algaires rétractiles ou dans les lamines micritiques foncées, où la microsonde montre, à côté des argiles, des zones à Al et Si libres (Rodier *et al.*, 1991). On sait que l'aluminium libre, comme le soulignent les agronomes, est phytotoxique (Robert, 1992);

2) l'augmentation de la température moyenne des eaux, qui provoque le stress et la « mort blanche » des coraux de Polynésie (Salvat, 1993), exerce probablement un effet comparable sur les biohermes travertineux. À Saint-Antonin, elle a augmenté dans le Bayon de plus de 1°C après 1989, sous l'influence conjuguée d'une sécheresse exceptionnelle et du passage de l'incendie sur la montagne Sainte-Victoire ayant entraîné la dégradation ou la disparition des ripisylves (Vaudour et Covo, 1991);

3) l'abondance des rejets polluants d'origine agricole, urbaine ou industrielle : phosphates (Casanova, 1986) ou produits encore mal identifiés qui complexent le calcium et inhibent la précipitation des carbonates (Martin, 1991).

#### CONCLUSIONS

1) Du Roussillon à la Provence, les édifices travertineux présentent des traits communs dans leur évolution au cours de l'Holocène. Leur développement débute fréquemment au Préboréal, dans un climat encore froid. L'offensive de la travertinisation (dômes stromatolithiques) se place à l'optimum climatique atlantique, comme dans la plupart des régions tempérées d'Europe. Des accidents détritiques et des récurrences travertineuses caractérisent la période charnière entre la fin de l'Atlantique et le début du Sub-Atlantique. Le ralentissement de la construction des barrages s'affirme au Néolithique final-Chalcolithique ancien. La mort des biohermes se situe généralement à la charnière du Sub-Boréal et du Sub-Atlantique. Le démantèlement des barrages et l'encaissement important (>10 m) et rapide des talwegs (au moins 10 mm/an) interviennent entre le début de notre ère et le Moyen Âge.

L'histoire des vallées à travertins à l'Holocène est comparable à celle des vallées des milieux méditerranéens ou tempérés (Jorda et Vaudour, 1980; Neboit-Guilhot, 1991). Elle est même plus schématique, car les barrages ont amplifié le « remblaiement holocène principal » et souligné ensuite la vigueur de l'incision linéaire.

2) Le « déclin » des travertins a été l'objet d'interprétations diverses (Goudie *et al.*, 1993). L'exemple du Midi de la France souligne à cet égard le poids du facteur anthropique dans les pays méditerranéens, reconnu également en Andalousie (Baena et Díaz del Olmo, 1989). Des causes naturelles rendent certes compte des aspects de ce déclin, qui se manifeste dès la fin de l'Atlantique, alors que des conditions climatiques plus xériques favorisent l'ouverture du paysage végétal. Les accidents détritiques observés dans les



édifices sont parfois liés à de brefs épisodes rhéxistatiques (Brochier, 1983, 1988), mais, le plus souvent, ils coïncident avec des périodes d'occupation humaine : Cardial, Chasséen, Néolithique final-Chalcolithique ancien et surtout époque historique. Sans l'homme, le paysage végétal aurait probablement conservé les caractéristiques forestières « tempérées », avec prédominance de *Quercus pubescens*, acquises dès le Boréal. Les récurrences de la travertinisation, dont la chronologie diffère dans le détail sur des sites voisins localisés au même étage bioclimatique, paraissent imputables aux aléas de l'occupation humaine et de son impact. L'évolution des édifices travertineux holocènes s'inscrit dans une séquence climato-anthropique.

### REMERCIEMENTS

J'exprime ma gratitude à tous ceux qui ont participé aux deux projets : « Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France » et « Milieux et anthropisation à l'Holocène en Méditerranée occidentale à partir de sites karstiques » du programme PIREN « Histoire de l'environnement et des phénomènes naturels », ainsi qu'aux membres de l'URA 903- CNRS et à mes élèves, auxquels cet essai doit beaucoup. Je tiens également à remercier M.-A. Geurts et les membres du comité de lecture pour leurs critiques constructives.

### RÉFÉRENCES

- Adolphe, J.P., 1981. Observations et expérimentations géomicrobiologiques et physicochimiques des concrétionnements carbonatés continentaux actuels et fossiles. Thèse en sciences, Université Pierre et Marie Curie, Mémoires en sciences de la Terre, Paris, 81-34, 339 p.
- Ambert, P., 1982. Recherches sur l'âge des tufs calcaires en Languedoc central, p. 171-179. In *Phénomènes karstiques II*. Mémoires et Documents du CNRS, 322 p.
- , 1988. Les tufs de la Resclauze (Gabian-Hérault). Leur évolution à l'Holocène, p. 99-106. In J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France (Provence, Languedoc, Roussillon). Travaux 1988, URA 903 et ATP PIREN-CNRS Histoire de l'environnement, Aix-en-Provence, 280 p.
- , 1991. L'évolution géomorphologique du Languedoc central (Grands Causses méridionaux- Piémont languedocien) depuis le Néogène. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille II, t. I, 224 p., t. II, fig., notices cartes h.t.
- Ambert, P. et Gascó, J., 1989. Les tufs de Saint-Guilhem-le-Désert. Évolution holocène et pression anthropique sur le milieu karstique (Languedoc, France). Bulletin du musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco, 32 : 63-85.
- Baena, R. et Díaz del Olmo, F., 1989. Edificios tobáceos en Andalucía occidental : secuencias de piedemonte, p. 87-97. In F. Díaz del Olmo et J. Rodríguez Vidal, éd., El Cuaternario en Andalucía Occidental, A.E.Q.U.A. monografía numero 1, Sevilla, 193 p.
- Bakalowicz, M., Lagasque, J.J., Magnin, F. et Vernet, J.L., 1988. Les travertins des Pyrénées orientales et des Corbières, p. 137-148. In J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France (Provence, Languedoc, Roussillon). Travaux 1988, URA 903 et ATP PIREN-CNRS Histoire de l'environnement, Aix-en-Provence, 280 p.
- Blot, P., 1983. Historique de l'étude des tufs et des travertins de France (du XVIII<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle, 1982), E.P.H.E., Laboratoire de Micropaléontologie, Paris, 90 p.
- Brochier, J.E., 1983. Deux mille ans d'histoire du climat dans le Midi de la France : étude sédimentologique. Annales E.S.C., 38 : 425-438.
- , 1988. Cinq millénaires de sédimentation dans le marais holocène de la Resclauze (Gabian, Hérault). Étude géoarchéologique, p. 117-136. In J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France. Travaux 1988, U.A. 903 CNRS et A.T.P. PIREN, Aix-en-Provence, 280 p.
- Campy, M. et Macaire, J.J., 1989. Géologie des formations superficielles : géodynamique, faciès, utilisation. Masson, Paris, 433 p.
- Casanova, J., 1981. Étude d'un milieu stromatolitique continental. Les travertins pliopléistocènes du Var (France), Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Université Aix-Marseille II, 2 vol., 136 p., 30 pl. photo, multigr.
- Cruz-Sanjulian, J., 1981. Evolución geomorfológica e hidrogeológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Málaga) a la luz de la datación de formaciones travertínicas. Boletín Geológico y Minero, Madrid, XCII-IV : 297-308.
- D'Anna, A. et Courtin, J., 1986. Travertins holocènes et sites préhistoriques : exemples dans le Var et les Bouches-du-Rhône, Méditerranée. Table ronde : Travertins s.l. et évolution des paysages holocènes dans le domaine méditerranéen, Aix-en-Provence (5-6 novembre 1985), 1-2 : 31-38.
- D'Anna, A., Evin, J., Guendon, J.L., Jaubert, J., Magnin, F., Otto, T., Quinif, Y., Roiron, P., Thion, M., Vernet, J.L. et Vaudour, J., 1988. Les édifices travertineux d'Auriol (Pont-de-Joux) et de Roquevaire (Saint-Vincent). Révision stratigraphique. Contribution à l'histoire de l'environnement dans la vallée de l'Huveaune (B-du-R) depuis 50 000 ans, p. 17-36. In J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France. Travaux 1988, U.A. 903 CNRS et A.T.P. PIREN, Aix-en-Provence, 280 p.
- Degaugue, F., 1991. Les tufs du Jonquier : étude sédimentologique et géoarchéologique. Mémoire de D.E.A., Université Aix-Marseille II, Aix-en-Provence, 43 p.
- Degaugue, F. et Guendon, J.L., 1992. Étude sédimentologique et géoarchéologique des travertins du Jonquier (Salernes, Var, France) : mise en évidence de l'impact de l'homme sur la sédimentation et sur l'environnement au Néolithique. Études de géographie physique, URA 903 - CNRS, Aix-en-Provence, XXI : 81-95.
- De Joubert, M., 1778. Observations sur les fossiles des environs de Montpellier, Bulletin Société, Royale, Montpellier, p. 23-24.
- Delgiovine, A., 1988. Essai de traitement statistique informatisé des données hydro-chimiques de la source de la « Baume ». Contribution à la connaissance des travertins de la cascade de Vauvenargues (B-du-R), p. 179-191. In J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France, Travaux 1988, U.A. 903 CNRS et A.T.P. PIREN, Aix-en-Provence, 280 p.
- Durand, A., 1988. Apport des sources historiques du moyen âge central à l'histoire des travertins du Midi de la France (900-vers 1215), p. 108-115. In J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France. Travaux 1988, U.A. 903 CNRS et A.T.P. PIREN, Aix-en-Provence, 280 p.
- Farizier, M., 1980. Recherches sur les macroflores des « tufs » quaternaires du Sud de la France, Diplôme EPHE, Montpellier, 326 p.
- Guendon, J.-L. et Vaudour, J., 1981. Les « tufs » holocènes de Saint-Antonin-sur-Bayon (B-du-R) : aspects pétrographiques et signification paléogéographique, p. 89-100. In J. Nicod, éd., Formations carbonatées externes. Tufs et travertins, Mémoire Association française de karstologie, 3, 219 p.
- Gullentops, F. et Mullenders W., 1972. Âge et formation de dépôts de tuf calcaire holocène en Belgique. Les congrès et colloques de l'Université de Liège, 67 : 113-135.
- Geurts, M.-A., 1976a. Formation des travertins de fond de vallée sous climat tempéré océanique. Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. 282 (19 janvier 1976), D : 275-276.
- , 1976b. Genèse et stratigraphie des travertins de fond de vallée en Belgique. Acta Geographica Lovaniensia, 16 : 66 p.
- Goudie, A.S., Viles, H.A. et Pentecost, A., 1993. The late-Holocene tufa decline in Europe, The Holocene, 3, 2 : 181-186.



- Jorda, M. et Vaudour, J., 1980. Sols, morphogénèses et actions anthropiques sur les rives Nord de la Méditerranée, p. 173-184. *In* Colloque sur l'évolution et la caractérisation de la flore et de la végétation circumméditerranéenne (9-10 avril 1980). Fondation L. Emberger, Naturalia Mospeliensia, n.h.s., Montpellier, 237 p.
- Lombard, A., 1972. Séries sédimentaires : genèse et évolution. H. Charmanne S.A., Liège, 722 p.
- Magnin, F., 1991. Mollusques continentaux et histoire quaternaire des milieux méditerranéens (Sud-Est de la France, Catalogne). Thèse de doctorat, Atelier national des reproduction des thèses, Lille, 340 p.
- Magnin, F., Guendon, J.-L., Roiron, P., Thion, M., Quinif, Y. et Evin, J., 1998. Les formations travertineuses de Meyrargues (B-du R), p. 39-54. *In* J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France (Provence, Languedoc, Roussillon). Travaux 1988, URA 903 et ATP PIREN-CNRS Histoire de l'environnement, Aix-en-Provence, 280 p.
- Magnin, F. et Thion, M. 1988. Les travertins holocènes de Vauvenargues et de Saint-Antonin (B-du-R), p. 63-71. *In* J. Vaudour, éd., Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France (Provence, Languedoc, Roussillon). Travaux 1988, URA 903 et ATP PIREN-CNRS Histoire de l'environnement, Aix-en-Provence, 280 p.
- Magnin, F., Guendon, J.-L., Vaudour, J. et Martin, P., 1991. Les travertins : accumulations carbonatées associées aux systèmes karstiques, séquences sédimentaires et paléoenvironnements quaternaires. Bulletin Société géologique de France, 162,(3) : 585-594.
- Martin, C., 1990. Composition chimique des eaux de l'Argens entre sa source et Châteauneuf (Var), p. 180-194. *In* Vernet, J.L. et Vaudour, J., eds., Milieux et anthropisation à l'Holocène en Méditerranée occidentale à partir de sites karstiques. ATP-PIREN Histoire de l'Environnement, Rapport final 1988-1990, USTL, Montpellier, 215 p.
- 1991. État des recherches sur l'hydrologie, l'hydrochimie et la travertinisation actuelle dans le bassin supérieur de l'Argens (Var). Travaux 1991, URA 903 CNRS, Aix-en-Provence, XX : 47-60.
- Mlakar, J.M., 1992. Les tufs et travertins du Col du Lautaret : paléoenvironnements et anthropisation des milieux alpins d'altitude. Mémoire D.E.A., Université d'Aix-Marseille II, Aix-en-Provence, 125 p.
- Neboit-Guilhot, R., 1991. Critères d'identification des facteurs d'orientation du sens de la morphogénèse fluviale en Italie du Sud et en Sicile. Actes de la Table ronde : « Rythmes d'évolution des formes d'accumulation et de creusement en milieux tempérés, Association Géographes français et URA 141 C.N.R.S., Physio-Géo, 21 : 61-66.
- Nicod, J., 1986. Les cascades des barrages de travertins de l'Argens supérieur (Var). Étude préliminaire. Méditerranée, 1-2 : 71-80.
- Nicol-Pichard, S., 1982. Contribution palynologique à l'étude de sédiments quaternaires de Provence. Thèse doctorat. Université de Provence, 168 p.
- 1987. Analyse pollinique d'une séquence tardi et postglaciaire à Tourves (Var, France), *Ecologia Mediterranea*, XIII, 1-2 : 29-42.
- Robert, M., 1992. Le sol, ressource naturelle à préserver pour la protection de l'environnement, Cahiers d'études et de recherches francophones, Agriculture. 1 : 21-34.
- Rodier, C., Joseph, C. et Gilly, J.C., 1991. Étude à la microsonde de la géochimie de concrétions internes de l'Aqueduc à Bezouze, p. 205-213. *In* G. Fabre, J.-L. Fiches et J.-L. Paillet, éd., L'aqueduc de Nîmes et le Pont du Gard : Archéologie, géosystème, histoire. Gap, Conseil général du Gard et Centre national de la recherche scientifique, 382 p.
- Salvat, B., 1993. Le stress des coraux. Le Journal du CNRS, 38, p. 25.
- Saporta, G., 1860. Note sur les plantes fossiles de la Provence. Bulletin Séances Société vaudoise sciences naturelles, 6 : 505-514.
- 1867. La flore des tufs quaternaires de Provence. CR. 33<sup>e</sup> session, Congrès scientifique de France, Aix, 32 p.
- Triat-Laval, H. et Reille, M., 1981. Analyse pollinique d'une séquence tourbeuse de Provence orientale (Seillons-Source d'Argens, Var, France), *Ecologia Mediterranea*, 7,2 : 32-37.
- Vaudour, J., 1986a. Introduction à l'étude des travertins holocènes, Méditerranée, 1-2 : 3-10.
- 1986b. Travertins holocènes et pression anthropique. Méditerranée, 1-2 : 168-173.
- éd., 1988. Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France (Provence, Languedoc, Roussillon). Travaux 1988, URA 903 et ATP PIREN-CNRS « Histoire de l'environnement », Aix-en-Provence, 280 p.
- 1991. La notion de géosystème appliquée à l'étude des aqueducs antiques concrétionnés, p. 95-107. *In* G. Fabre, J.-L. Fiches et J.-L. Paillet, éd., L'aqueduc de Nîmes et le Pont du Gard : Archéologie, géosystème, histoire. Conseil général du Gard et Centre national de la recherche scientifique, Gap, 382 p.
- 1993. Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France (Provence, Languedoc, Roussillon). Essai de synthèse. p. 209-218. *In* C. Beck et R. Delort, Pour une histoire de l'environnement. Actes du programme scientifique et du colloque de mars 1991 sur l'histoire de l'environnement et des phénomènes naturels, CNRS Éditions, 160 p.
- Vaudour, J. et Covo, J., 1991. Un cycle de mesures hydrochimiques sur le Bayon en année sèche et après l'incendie de la Ste Victoire du 28 août 1989. URA 903-CNRS, Aix-en-Provence, Travaux 1991, XX : 37-46.
- Vernet, J.L. 1987. Recherches sur les flores associées aux travertins languedociens. ATP-PIREN : Édifices travertineux et histoire de l'environnement dans le Midi de la France. Rapport interne, 4 p.
- Vernet, J.L. et Vaudour, J., éd., 1990. Milieux et anthropisation à l'Holocène en Méditerranée occidentale à partir de sites karstiques. ATP-PIREN Histoire de l'Environnement, Rapport final 1988-1990, USTL, Montpellier, 215 p.
- Viles, H.A. et Goudie, A.S., 1990. Tufas, travertines and allied carbonate deposits. *Progress in Physical Geography*, 14, 19 : 41.